

**Universidad de Chile**  
**Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas**  
**Depto. de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química**  
**Área Ingeniería en Alimentos**

# **Cálculo de Procesos Térmicos**

## **de Alimentos en el siglo XXI**

**Eduardo Castro Montero**  
**Prof., Ingeniero Civil de Industrias, Mención Química (PUC de Chile)**  
**Magíster (U. de Chile)**

**Juvenal León Silva**  
**Ingeniero en Alimentos (U. de Chile)**

**2008**

Dedicado a  
Patricia Bravo R.,  
Lucero de mi alma

## **Prólogo**

Se presenta a continuación un llamado de alerta sobre la utilización de determinados métodos de cálculo de tratamiento térmico de alimento que se han utilizado tanto en las industrias como en la academia y que no debieran seguir en uso.

Esta presentación está indicando un cambio importante para los procesos térmicos en el área de alimentos y también en el farmacéutico.

E. Castro

En las siguientes páginas se da a conocer el planteamiento del doctor Micha Peleg, el cual deberían desde ya tener en cuentas las personas involucradas en los cálculos de tratamientos térmico de alimentos y productos farmacéuticos, desde académicos pasando por los alumnos hasta los profesionales que se encuentran en las empresas de alimentos y farmacéuticas.

J. León

## Utilización del modelo de Weibull/log-logistic y del modelo de supervivencia log-lineal/Arrhenius que son modelos de supervivencia en cálculos de esterilización

El doctor Micha Peleg aclara en su carta al editor del JFS vol. 72, N° 6, VII – VIII lo que sucede realmente al aplicar el concepto de linealización logarítmica de la curva de supervivencia y de la vigencia del modelo de Arrhenius aplicado a alimentos y productos farmacéuticos.

El plantea lo que sucede cuando la curva de supervivencia de un microorganismo o espora no es logarítmico lineal. En este caso al forzar un comportamiento lineal de una curva no lineal se introduce un error sistemático que puede traducirse en un error de varios órdenes de magnitud en la estimación de la curva de supervivencia, que se puede apreciar en la figura siguiente (Fig. 5, A. Halder, A.K. Datta, S.S.R. Geedipalli, 2007, “Uncertainty in thermal process calculations due to variability in first-order and Weibull kinetic parameters”, JFS, 72, N° 4, E155 – E167) que es de Halder y otros (2007) y otras publicaciones.

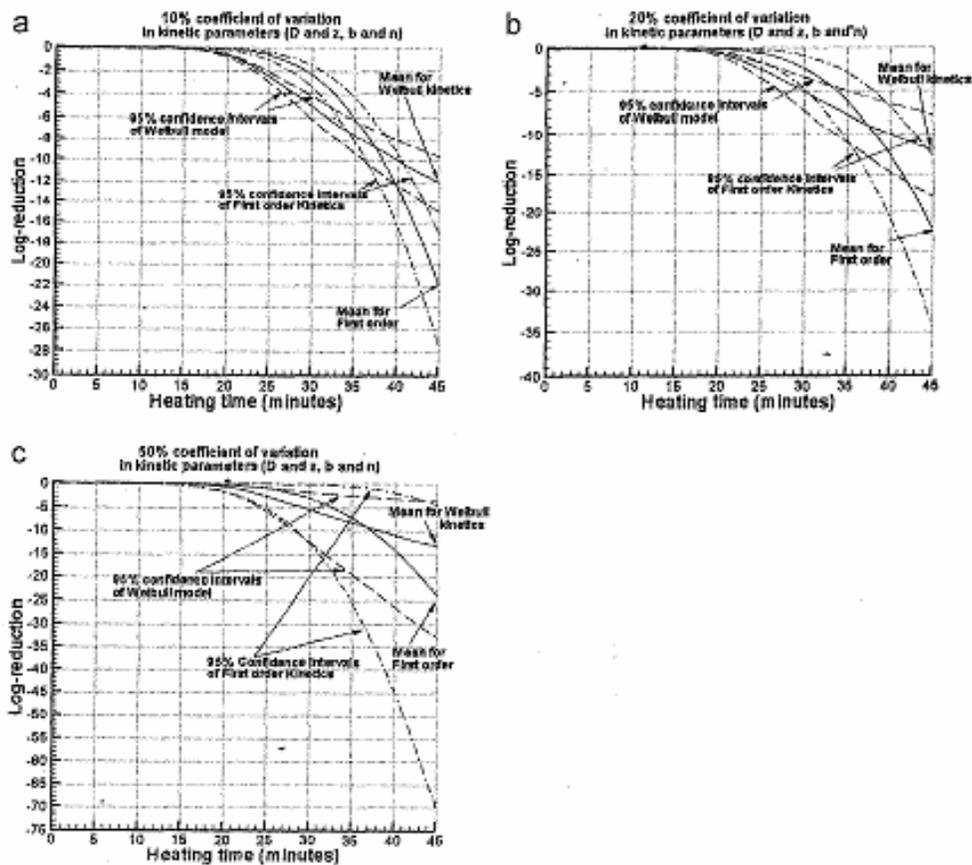


Figura 1: Reducción logarítmica transiente siguiendo el modelo de primer orden y la cinética de Weibull para el “Clostridium Botulinum” con coeficiente de variación a) 10%, b) 20% y c) 50% respectivamente.

(Fuente: Halder y otros, 2007).

Las curvas de supervivencia iso-térmica pueden tener curvas de supervivencia convexas, esto introduce una sensación falsa de seguridad al utilizar cinética de primer orden. Por otra parte las curvas pueden presentar concavidad, esto se traduce en un sobreproceso que destruye nutrientes, baja la calidad y pueden producirse compuestos dañinos por el sobrecalentamiento (Arnoldi, 2001).

Sobre la ecuación de Arrhenius tan popular en el campo de los alimentos plantea los problemas siguientes.

Las células y esporas no son moléculas gaseosas, esto es importante porque el modelo de Arrhenius fue desarrollado para moléculas gaseosas.

No hay que olvidar que los microorganismos presentan resistencia térmica que depende de la temperatura y el tiempo en que está sometido a esa temperatura.

Plantea que la conversión a los recíprocos grados Kelvin no aporta nada en el caso de alimentos entonces no tiene ninguna utilidad el recíproco de grados Kelvin.

En el caso de la “energía de activación” que se supone independiente de la temperatura requiere el concepto de mol.

Y hay que preguntarse que es un mol de esporas de bacterias que equivaldría a 200.000 ton métricas según lo muestra el cálculo. Y por otra parte la constante universal de los gases no tiene nada que ver con procesos biofísicos/bioquímicos que provocan la muerte de las células o la inactivación de las esporas. Siguiendo en esta línea se ha tratado de relacionar las cinéticas de inactivación de primer orden con la distribución de Maxwell-Boltzman que fue desarrollado para explicar las colisiones elásticas de moléculas de gas en equilibrio térmico. Realmente las condiciones de equilibrio no se presentan en la inactivación isoterma o no-isoterma de células o esporas.

El Dr. Peleg plantea que el problema mayor es que en pleno siglo XXI todavía las universidades norteamericanas y del mundo sigan enseñando una teoría de la cinética de la supervivencia que está muerta y la industria de alimentos y farmacéutica continúan utilizando criterios de esterilidad basados en pasar una línea recta en datos que realmente son curvos.

La incertidumbre en las magnitudes de los parámetros de supervivencia siempre va a estar presente y las simulaciones del tipo que presentaron Halder y otros (2007) pueden ser herramientas útiles que aseguran todo lo relacionado con la seguridad de los productos. También la historia térmica de una lata está sujeta a

incertidumbre y variaciones. Ambas debieran ser utilizadas para establecer factores racionales de seguridad en los procesos térmicos (La idea de investigar la importancia de la cinética no lineal en la seguridad de alimentos térmicamente procesados fue propuesta hace 10 años. Fue evaluada por Food Safety Program of the USDA-NRICGP como inadecuada de apoyo aunque hubiera fondos disponibles).

El objetivo principal frente a la comunidad de Food Science es si se toma en cuenta el carácter no lineal de la inactivación microbiana en los cálculos de esterilidad, ahora y en el futuro la proposición de Halder y otros (2007) que las curvas no lineales de supervivencia pueden ser resultado de errores experimentales y artefactos (Halder y otros, 2007) se basan en razonamientos tales como el clásico “begging the question fallacy” dejen que las cosas caigan por sí solas. El argumento puede ser utilizado en sentido contrario, uno puede argumentar que aquellos que han reportado cinética de primer orden de inactivación no detectan la curvatura de las curvas de supervivencia semilogarítmica debido a los errores experimentales y artefactos (O el azar ha jugado su papel?).

Software libre que está sustentado en el modelo Weibullian/log-logístico para los cálculos de esterilización (con MS Excel<sup>®</sup>) está disponible en la web: <http://www-unix.oit.umass.edu/~aew2000/GrowthAndSurvival/GrowthAndSurvival.html>. El Programa indicado permite al usuario generar el perfil de temperatura a establecer sus propios datos de tiempo-temperatura y modificar los parámetros de supervivencia de los microorganismos (Esto permite al usuario asegurarse del papel que juegan varias incertidumbres, incluyendo los parámetros de supervivencia) cada programa puede generar la razón de supervivencia en tiempo real y calcula, automáticamente el tiempo equivalente a cualquier temperatura elegida como referencia como la temperatura Standard de 121,1 °C (250 °F) ver Corradini y otros (2006) y Peleg (2006). El uso de estos programas no es más complicado que el cálculo ambiguo del  $F_0$  (Aunque es raramente reconocido: el “valor  $F_0$ ” no puede ser directamente transformado en una razón de supervivencia si las isotermas de las curvas de supervivencia no son logarítmicamente lineales o si sólo “log k vs T” (no versus 1/T) es no-lineal, como lo requiere el método tradicional, ver Datta 1993 y Peleg 2006). Los alimentos enlatados son seguros de consumir porque son groseramente sobreprocesados, no debido a que la “teoría de la cinética de primer orden” es correcta o a la aplicabilidad de la ecuación de Arrhenius (Peleg, 2006). Con la gran disponibilidad de programas de regresión no lineales, no hay razón para continuar utilizando el modelo de inactivación log-lineal cuando los microorganismos y esporas repetidamente nos están indicando su invalidez (ver van Boekel 2002, Fernández y otros 1999, Periago y otros 2004, Pardley y otros 2005 por ejemplo y varios más. También puede consultar en Google Scholar “Weibull microbial inactivation” para que lo analice uno mismo). Con las actuales capacidades computacionales y los software amigables disponibles basados en la cinética no lineal no existen razones para utilizar métodos reconocidamente incorrectos. Además es sorprendente la oposición a la introducción de métodos nuevos de calcular la esterilidad tanto de la industria

conservera como de respetables instituciones académicas tal como el paper de Halder y otros representan.

Micha Peleg  
Dept. of Food Science  
Univ. of Massachusetts Amherst

## Bibliografía

- Corradini MG, Normand MD, Peleg M. (2006). On expressing the equivalence of non-isothermal and isothermal heat sterilization process. *J Sci Food Agric* 86: 785 – 92.
- Datta AK (1993). Error estimates for approximate kinetic parameters used in the food literature. *J. Food Eng.* 18: 181 – 99.
- Fernández A, Salmeron C, Fernández PS, Martínez A. (1999). Application of the frequency distribution model to describe the thermal inactivation of two strains of “*Bacillus cereus*”. *Trends Food Sci Tech* 10: 158 – 62.
- Halder A, Datta AK, Geedipalli SSR. (2007). Uncertainty in thermal process calculations due to variability in first order and Weibull kinetic parameters. *J. Food Sci*, 72, N° 4, E 155 – E 167.
- Pardley KK, Schuchmann HP, Schubert H. (2005). Modelling the thermal inactivation of vegetative microorganisms (in German). *Chem Ingen Technik* 77: 841 – 51.
- Peleg M. (2006). *Advanced quantitative microbiology for food and biosystems: models for predicting growth and inactivation*. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Peleg M. (2007). On the comparison between the performance of the Weibull/log-logistic and the log-linear/Arrhenius survival models in sterility calculations. Letter to the editor, *J Food Sci*, 72, N° 6, vii, viii.
- Periago PM, van Zuijlen A, Fernández PS, Klapwijk PM, Tersteeg PF, Corradini MG, Peleg M. (2004). Estimation of the non-isothermal inactivation patterns of *Bacillus sporothermodurans* IC 4 spores in soups from their isothermal survival data. *Intl J Food Microbiol* 95: 205 – 18.
- van Boekel MAJS. (2002). On the use of the Weibull model to describe thermal inactivation of microbial vegetative cells. *Intl J Food Microbiol* 74: 139 – 59.